

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2001-82913

(P2001-82913A)

(43) 公開日 平成13年3月30日 (2001.3.30)

(51) Int.Cl. ⁷	識別記号	F I	テ-マ-ト* (参考)
G 0 1 B 7/30	1 0 1	G 0 1 B 7/30	1 0 1 A 2 F 0 6 3
G 0 1 D 5/20		G 0 1 D 5/20	S 2 F 0 7 7

審査請求 有 請求項の数 6 O L (全 7 頁)

(21) 出願番号 特願平11-255794

(22) 出願日 平成11年9月9日 (1999.9.9)

(71) 出願人 391012327

東京大学長

東京都文京区本郷7丁目3番1号

(72) 発明者 加賀美 聡

東京都文京区根津1-1-21-505

(72) 発明者 稲葉 雅幸

千葉県鎌ヶ谷市丸山2-10-70-307

(72) 発明者 井上 博允

東京都江戸川区江戸川1-42-8

(74) 代理人 100058479

弁理士 鈴江 武彦 (外5名)

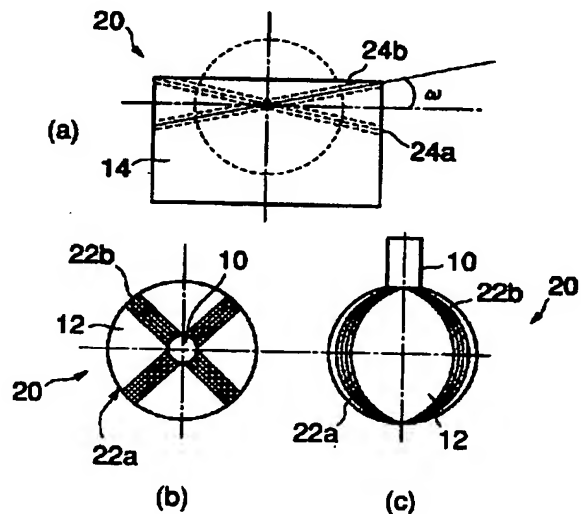
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 角度検出センサ

(57) 【要約】

【課題】 球ジョイントに容易に組込むことができ、球ジョイントの3軸回転角度を測定可能な角度検出センサを提供することにある。

【解決手段】 球ジョイントの球体部12の外面には、球体部の中心と一致した中心をそれぞれ有した2つの第1コイル22a、22bが巻回され、この球体部は、受部材14に形成されたほぼ球状の凹所内に回転自在かつ摺動自在に装着されている。球状部からはジョイント軸10が延出している。受部材には、凹所を囲んでいるとともに、球体部の中心と一致した中心をそれぞれ有した2つの第2コイル24a、24bが巻回されている。第2コイルに互いに周波数の異なる電圧を供給して交代磁場を発生させ、この交代磁場により第1コイルに発生する誘導起電力を周波数毎に分解して検出する。そして、検出された誘導起電力からジョイント軸の3軸周りでの回転角度をそれぞれ算出する。



1

【特許請求の範囲】

【請求項 1】球状の外面を持った球体部と、上記球体部から延出したジョイント軸と、ほぼ球状の内面を有しているとともに上記球体部が回転自在に係合した凹所を有した受部材と、を備えた球ジョイントにおける上記ジョイント軸の 3 軸回転角度を検出する角度検出センサにおいて、

上記球体部の外面に巻回されているとともに、上記球体部の中心と一致した中心をそれぞれ有した 2 つの第 1 コイルと、

上記凹所を囲んで上記受部材に設けられているとともに、上記球体部の中心と一致した中心をそれぞれ有した 2 つの第 2 コイルと、

上記第 1 および第 2 コイルのいずれか一方の 2 つのコイルに互いに周波数の異なる電圧を供給し交代磁場を発生させる電圧供給部と、

上記交代磁場により上記第 1 および第 2 コイルの他方の 2 つのコイルに発生する誘導起電力を上記周波数毎に検出し、検出された誘導起電力から上記ジョイント軸の 3 軸周りで回転角度をそれぞれ算出する算出部と、を備えていることを特徴とする角度検出センサ。

【請求項 2】上記各コイルに発生した誘導起電力を周波数毎の出力電圧に分離する分離部を備えていることを特徴とする請求項 1 に記載の角度検出センサ。

【請求項 3】上記第 1 コイルと第 2 コイルとのなす角度と出力電圧との関係を規定する関数データを格納した記憶部を備え、上記算出部は、上記検出された周波数毎の出力電圧と上記記憶部に格納された関数データとに基づいて上記ジョイント軸の回転角度を算出することを特徴とする請求項 2 に記載の角度検出センサ。

【請求項 4】上記一方の第 1 コイルと一方の第 2 コイルとのなす角度を $\theta 1 a$ 、上記一方の第 1 コイルと他方の第 2 コイルとのなす角度を $\theta 2 a$ 、他方の第 1 コイルと上記一方の第 2 コイルとのなす角度を $\theta 1 b$ 、上記他方の第 1 コイルと上記他方の第 2 コイルとのなす角度を $\theta 2 b$ 、上記 2 つの第 2 コイルのコイル面同士がなす角度を 2ω とし、

上記球体部の中心を通る x、y、z 軸に対する上記ジョイント軸のなす角度をそれぞれロール角 γ 、ピッチ角 β 、ヨー角 α とした場合、

上記算出部は、上記検出された周波数毎の出力電圧と上記記憶部に格納された関数データとに基づいて上記 $\theta 1 a$ 、 $\theta 2 a$ 、 $\theta 1 b$ 、 $\theta 2 b$ をそれぞれ算出するとともに、以下の式に基づいて上記ロール角 γ 、ピッチ角 β 、ヨー角 α を算出することを特徴とする請求項 3 に記載の角度検出センサ。

【数 1】

2

$$\beta = -\sin^{-1} \left(\frac{\cos \theta 1 a + \cos \theta 2 a}{2 \cos \omega} \right)$$

$$\alpha = \cos^{-1} \left(\frac{\cos \theta 1 a - \cos \theta 2 a}{2 \sin \omega \cos \beta} \right)$$

$$\gamma = \sin^{-1} \left(\frac{\cos \theta 1 b + \cos \theta 2 b}{2 \cos \omega \cos \beta} \right)$$

【請求項 5】上記 2 つの第 1 コイルのコイル面同士がなす角度は $30^\circ \sim 90^\circ$ に設定され、上記 2 つの第 2 コイルのコイル面同士がなす角度は $30^\circ \sim 90^\circ$ に設定されていることを特徴とする請求項 1 ないし 4 のいずれか 1 項に記載の角度検出センサ。

【請求項 6】上記 2 つの第 2 コイルのコイル面同士がなす角度は $50 \sim 80^\circ$ に設定されていることを特徴とする請求項 5 に記載の角度検出センサ。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】この発明は角度検出センサに関し、特に、球ジョイントの 3 軸周りの回転角度を検出するための角度検出センサに関する。

【0002】

【従来の技術】近年、ロボットの関節、ジョイスティック等の操作レバーの軸受に、3 軸自由度を持った球ジョイントを用いたものが提供されている。例えば、ロボットの分野においては、軽量化と動作の多自由度化を実現するため、股関節や足首関節のような 3 自由度を持つ関節を、球ジョイントを用いて構成している。そして、このような球ジョイントは、機構部分が軽量かつ単純な構成にできる利点を有している。

【0003】球ジョイントを用いた場合、ワイヤ等で牽引して関節の角度を制御するためには、球ジョイントの 3 軸の回転角度を測定することが必要となる。一般に、3 次元角度測定には、ホール素子を用いた測定素子や、交代磁場を用いた VR 用途の 3 次元位置測定装置などを用いることが知られている。

【0004】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、上記のようなホール素子を用いた測定素子や、3 次元位置測定装置は、その構造上、球ジョイントに組込むことが困難であり、球ジョイントの回転角度検出には適していない。そこで、この発明の目的は、球ジョイントに容易に組込むことができ球ジョイントの 3 軸回転角度を測定可能な角度検出センサを提供することにある。

【0005】

【課題を解決するための手段】上記目的を達成するため、本発明に係る角度検出センサは、球ジョイントの球体部と、この球体部を摺動自在に受けた受部材とにそれぞれコイルを組み込み、これらのコイルの磁気結合の強度から球ジョイントに設けられたジョイント軸の角度を測定することを特徴としている。

【0006】上記角度検出センサの基本原理は、例え

は、受部材に設けられた外側送信コイルに磁場を発生させ、球体部に設けられ外側送信用コイルのループ内に位置した受信コイルに誘導される起電力を測定することで、2つのコイルのなす角度を検出するものである。誘導起電力の大きさは、送信コイル面と受信コイル面とのなす角度、つまり、ジョイント軸の角度のみによって決定され、方向には依存しない。

【0007】球ジョイントの自由度として、3軸周りの全ての回転角度を測定するためには、少なくとも送信コイルが2つ、受信コイルが2つ必要となる。送信、受信コイルの組み合わせはコイル4つとなるが、送信コイルへ供給する電圧の周波数をコイル毎に変更し、各受信コイルで受信した周波数成分をバンドパスフィルタ等の分離部によって分解することで、送信側の2つのコイルと各受信側のコイルとのなす角度をそれぞれ独立に求めることができ、3軸全ての回転角度を検出することが可能となる。

【0008】上記の基本原理解に基づき、この発明に係る角度検出センサは、球状の外面を持った球体部と、上記球体部から延出したジョイント軸と、ほぼ球状の内面を有しているとともに上記球体部が回転自在に係合した凹所を有した受部材と、を備えた球ジョイントにおける上記ジョイント軸の3軸回転角度を検出する角度検出センサにおいて、上記球体部の外面に巻回されているとともに、上記球体部の中心と一致した中心をそれぞれ有した2つの第1コイルと、上記凹所を囲んで上記受部材に設けられているとともに、上記球体部の中心と一致した中心をそれぞれ有した2つの第2コイルと、上記第1および第2コイルのいずれか一方の2つのコイルに互いに周波数の異なる電圧を供給し交代磁場を発生させる電圧供給部と、上記交代磁場により上記第1および第2コイルの他方の2つのコイルに発生する誘導起電力を上記周波数毎に検出し、検出された誘導起電力から上記ジョイント軸の3軸周りでの回転角度をそれぞれ算出する算出部と、を備えていることを特徴としている。

【0009】また、この発明に係る角度検出センサは、各コイルに発生した誘導起電力を周波数毎の出力電圧に分離する分離部を備え、更に、上記第1コイルと第2コイルとのなす角度と出力電圧との関係を規定する関数データを格納した記憶部を備え、上記算出部は、上記検出された周波数毎の出力電圧と上記記憶部に格納された関数データとに基づいて上記ジョイント軸の回転角度を算出することを特徴としている。

【0010】上記一方の第1コイルと一方の第2コイルとのなす角度を $\theta 1a$ 、上記一方の第1コイルと他方の第2コイルとのなす角度を $\theta 2a$ 、他方の第1コイルと上記一方の第2コイルとのなす角度を $\theta 1b$ 、上記他方の第1コイルと上記他方の第2コイルとのなす角度を $\theta 2b$ 、上記2つの第2コイルのコイル面同士がなす角度を 2ω とし、上記球体部の中心を通るx、y、z軸に対

する上記ジョイント軸のなす角度をそれぞれロール角 γ 、ピッチ角 β 、ヨー角 α とした場合、上記算出部は、上記検出された周波数毎の出力電圧と上記記憶部に格納された関数データとに基づいて上記 $\theta 1a$ 、 $\theta 2a$ 、 $\theta 1b$ 、 $\theta 2b$ をそれぞれ算出するとともに、以下の式に基づいて上記ロール角 γ 、ピッチ角 β 、ヨー角 α を算出する。

【0011】

【数2】

$$\begin{aligned}\beta &= -\sin^{-1} \left(\frac{\cos \theta_{1a} + \cos \theta_{2a}}{2 \cos \omega} \right) \\ \alpha &= \cos^{-1} \left(\frac{\cos \theta_{1a} - \cos \theta_{2a}}{2 \sin \omega \cos \beta} \right) \\ \gamma &= \sin^{-1} \left(\frac{\cos \theta_{1b} + \cos \theta_{2b}}{2 \cos \omega \cos \beta} \right)\end{aligned}$$

【0012】

【発明の実施の形態】以下図面を参照しながら、この発明の実施の形態に係る角度検出センサを備えた球ジョイントについて詳細に説明する。図1に示すように、球ジョイントは、球状の外面を有しジョイント軸10に固定された球体部12と、この球体部12を回転自在に受けた受部材14と、を備えている。球体部12および受部材14は、例えば合成樹脂により形成されている。また、ジョイント軸10は、例えば真鍮によって形成されているとともに、球体部12の中心cを通る方向に沿って、球体部12の外面から延出している。

【0013】受部材14は円柱形状に形成されているとともに、その一端面に開口したほぼ球状の凹所16を有している。そして、球体部12の大部分は凹所16内に摺動自在かつ回転自在に装着され、ジョイント軸10は凹所16の開口を通して延びている。これにより、ジョイント軸10は、球体部12の中心cを通る3軸x、y、zの周りでそれぞれ回転自在となっている。なお、受部材14は、凹所16に対して球体部12を脱着できるように、二つの部分に分離可能に形成されている。

【0014】一方、上記のように構成された球ジョイントには、ジョイント軸10の回転角度を検出する角度検出センサ20が設けられている。図2に示すように、この角度検出センサ20は、球体部12の外面に設けられた2つの第1コイル22a、22bと、凹所16を囲むように受部材14の外周面に設けられた2つの第2コイル24a、24bと、を備えている。

【0015】第2コイル24a、24bは送信用コイルとして機能し、電圧が供給されることによりそれぞれ交代磁場を発生する。また、第1コイル22a、22bは受信用コイルとして機能し、第2コイル24a、24bにより形成された交代磁場に応じて誘導された起電力を発生する。そして、各第1コイル22a、22bに発生した誘導起電力は、角度検出センサ20の検出出力となる。

【0016】第1コイル22a、22bは、それぞれ被覆された銅線を、球体部12の外面に切られた2つの溝に巻き付けることによって構成されている。そして、2つの第1コイル22a、22bは、それぞれその中心が球体部12の中心cと一致するように巻かれている。また、第1コイル22a、22bは、ジョイント軸10の軸方向と直交した法線ベクトルを持つ円周上に巻回され、かつ互いに90度の角度をなして設けられている。すなわち、本実施の形態においては、2つの第1コイル22a、22bは、ジョイント軸10と交差する円周上の溝に沿って、かつ、コイル面が互いに直交するように巻回されている。

【0017】なお、第1コイル22a、22b間の角度は、30°～90°の範囲、より好ましくは60°ないし90°の範囲に設定されている。また、第1コイル22a、22bは、凹所16内における球体部12の移動を妨げないように、球体部12の外周面から突出することなくほぼ面一に設けられている。

【0018】一方、2つの第2コイル24a、24bは、それぞれ円環状に巻回され、その中心が球体部12の中心cと一致した状態で受部材14の外周面に固定されている。各第2コイル24a、24bは、受部材14の中心軸と直交する平面に対して角度 ω だけ傾斜して設けられている。そして、第2コイル24a、24bは、送信用コイルとして機能し、正弦波形の電圧を流すことで交代磁場を発生させる。

【0019】なお、2つの第2コイル24a、24b同士がなす角度 2ω は、30°ないし90°の範囲に、より好ましくは60°～90°の範囲に設定されている。

【0020】本実施の形態において、第1コイル22a、22bは、巻数5、直径24mm、第2コイル24a、24bは、巻数10、直径35mm、角度 $\omega=15^\circ$ に形成されている。この場合、第1コイルおよび第2コイルのインダクタンスは、それぞれ1.9 μ H、9.4 μ Hとなる。

【0021】また、図3に示すように、角度検出センサ20は、送信用の第2コイル24a、24bに互いに異なる周波数の電圧を供給し交代磁場を発生させるファンクションジェネレータ等の電圧供給部30と、送信用の第2コイル22a、22bに誘導された起電力を測定するスペクトラムアナライザ等の測定部32と、を備えている。測定部32によって測定された起電力は、バンドパスフィルタ等の分離部34によって周波数毎に分離された後、すなわち、4つの出力に分離された後、制御部および算出部として機能するCPU36に入力される。

【0022】更に、記憶部としてのメモリ40には、後述するように、実験等により求められた、出力電圧と角度との関係を規定する関数データが格納されている。そして、CPU36は、この関数データ、および分離部34を通して得られた各周波数の検出電圧に基いて

ジョイント軸10の3軸回転角度、つまり、ロール角、ピッチ角およびヨー角を算出する。

【0023】ここで、ジョイント軸10がx、y、z軸となす角度を、それぞれロール角 γ 、ピッチ角 β 、ヨー角 α としている。そして、第1コイル22aと第2コイル24aとのなす角度を θ_{1a} 、第1コイル22aと第2コイル24bとのなす角度を θ_{2a} 、第1コイル22bと第2コイル24aとのなす角度を θ_{1b} 、第1コイル22bと第2コイル24bとのなす角度を θ_{2b} とすると、ロール角 γ 、ピッチ角 β 、ヨー角 α は以下の式で表される。

【0024】

【数3】

$$\begin{aligned}\beta &= -\sin^{-1} \left(\frac{\cos \theta_{1a} + \cos \theta_{2a}}{2 \cos \omega} \right) \\ \alpha &= \cos^{-1} \left(\frac{\cos \theta_{1a} - \cos \theta_{2a}}{2 \sin \omega \cos \beta} \right) \\ \gamma &= \sin^{-1} \left(\frac{\cos \theta_{1b} + \cos \theta_{2b}}{2 \cos \omega \cos \beta} \right)\end{aligned}$$

【0025】前述した出力電圧と角度との関数は以下の手法により求める。すなわち、送信側の1つの第2コイルと、受信側の1つの第1コイルとを用い、これら2つのコイルのなす角度と出力電圧の振幅との関係を測定する。例えば、電圧供給部30から第2コイル24aに振幅 $V_{cc}=5$ (V)、発振周波数 $f=1$ (MHz)の正弦波を供給して交代磁場を発生させ、第1コイル22aに誘導される起電力の周波数 f の成分 V_{out} (V)を測定部32、分離部34を介して測定する。

【0026】図4は、上記の測定結果を示したもので、図中、×は実際の測定値であり、これらの測定値を直線で近似している。そして、得られた近似直線から、第2コイル24aに対する第1コイル22aの角度 θ_{1a} と出力電圧との関係を示す関数を求める。

【0027】また、上記と同様の手法により、他の角度 θ_{1b} 、 θ_{2a} 、 θ_{2b} と出力電圧との関係を示す関数を、それぞれ求める。このようにして求めた4つの関数は、データとしてメモリ40に格納しておく。

【0028】一方、受信側の第1コイル22aに誘導した起電力を2つの周波数毎に分離することにより、角度 θ_{1a} 、 θ_{2a} に対応した出力電圧が得られ、また、受信側の第1コイル22bに誘導した起電力を2つの周波数毎に分離することにより、角度 θ_{1b} 、 θ_{2b} に対応した検出電圧が得られる。

【0029】例えば、一方の第2コイル24aに振幅5V、発振周波数1MHzの電圧、他方の第2コイル24bに振幅5V、発振周波数1.5MHzの電圧、をそれぞれ供給した場合、一方の第1コイル22aに生じる誘導起電力は図5(a)に示すようになり、この誘導起電力を分離部34により周波数毎に分離すると、図5(b)に示すように、第1コイル22aと第2コイル2

4aとの間の角度 $\theta 1a$ に対応する出力電圧、および図5(c)に示すように、第1コイル22aと第2コイル24bとの間の角度 $\theta 2a$ に対応する出力電圧とが得られる。

【0030】また、他方の第1コイル22bに生じる誘導起電力は図6(a)に示すようになり、この誘導起電力を分離部34により周波数毎に分離すると、図6

(b)に示すように、第1コイル22bと第2コイル24aとの間の角度 $\theta 1b$ に対応する出力電圧、および図6(c)に示すように、第1コイル22bと第2コイル24bとの間の角度 $\theta 2b$ に対応する出力電圧が得られる。

【0031】そして、得られた4つの検出電圧と上述した関数とから、角度 $\theta 1a$ 、 $\theta 2a$ 、 $\theta 1b$ 、 $\theta 2b$ を求め、更に、これらから上記式に基いてロール角 γ 、ピッチ角 β 、ヨー角 α を算出する。

【0032】本発明者等は、上記のように構成された角度検出センサ20による検出精度を調べるため、以下の実験を行った。図7に示すように、球ジョイントのジョイント軸10のピッチ角 γ を 50.8° 、ロール角 β を 0° にそれぞれ固定し、ヨー角 α を 15° 置きに 0° から 360° まで変化させたときの出力電圧を測定した。周波数による送信の多重化は行わず、送信用の第2コイルには、振幅5(V)、発振周波数1(MHz)の正弦波電圧を独立に印加した。

【0033】図8は、得られた出力電圧から算出したロール角 γ 、ピッチ角 β 、ヨー角 α を示している。ただし、ピッチ角 β の出力は、 180° で折返している。この図から分かるように、ピッチ角 β の平均値は 44.9° 、ロール角 γ の平均値は -2.9° であり、実際のピッチ角 $\gamma=50.8^\circ$ 、ロール角 $\beta=0^\circ$ とほぼ近似した値を得ることができた。同時に、ヨー角 α についても、実際の値に対して平均で 5° 程度のずれであった。

【0034】上記のような値のずれは、ある方向へのドリフトであり、ノイズ等に起因する誤差は少ない。そのため、前述した角度-出力電圧を示す関数を求めるための近似直線をより正確に定めるとともに、各コイルをより高い精度で巻くことにより、上述した誤差を低減し精度の高い検出が可能となる。

【0035】以上のように、上記構成の角度検出センサ20によれば、球ジョイントを構成する球体部12の外面に第1コイル22a、22bを設け、受部材14に凹所16を囲む第2コイル24a、24bを設けることにより、容易に球ジョイントに組込むことができる。同時に、第2コイル24a、24bに電圧を供給して交代磁界を発生させ、第1コイル22a、22bに誘導した起

電力を検出することにより、球ジョイントに設けられたジョイント軸10の3軸周りでの回転角度を精度良く検出することができる。

【0036】なお、この発明は上述した実施の形態に限定されることなく、この発明の範囲内で種々変形可能である。例えば、上述した実施の形態では、第1コイルを受信側、第2コイルを送信側としたが、逆に、第1コイルに電圧を供給して送信側とし、第2コイルを受信側として用いてもよい。

【0037】また、第1コイルおよび第2コイルの数はそれぞれ2個としたが、3個以上としてもよく、数を増やすことにより検出精度を上げることができる。更に、球体部、受部材、ジョイント軸の材質は必要に応じて変更可能である。

【0038】

【発明の効果】以上詳述したように、この発明によれば、球ジョイントに容易に組込むことができ、球ジョイントの3軸回転角度を精度良く測定可能な角度検出センサを提供することができる。

20 【図面の簡単な説明】

【図1】この発明の実施の形態に係る球ジョイントを示す平面図および断面図。

【図2】上記球ジョイントに設けられた角度検出センサの第1および第2コイルを示す図。

【図3】上記角度検出センサの構成を概略的に示すブロック図。

【図4】コイルの角度と出力電圧との関係を測定した結果を示すグラフ。

【図5】上記角度検出センサの一方の第2コイルに生じた誘導起電力、および周波数毎に分離した誘導起電力を示すグラフ。

【図6】上記角度検出センサの他方の第2コイルに生じた誘導起電力、および周波数毎に分離した誘導起電力を示すグラフ。

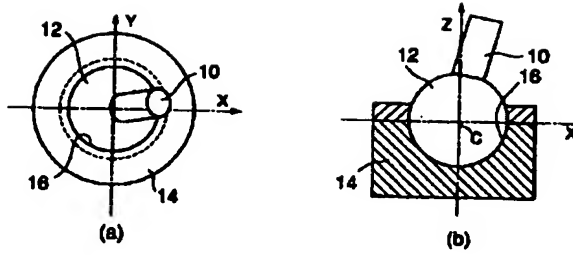
【図7】上記球ジョイントの3軸回転角度を測定する実験方法を示す図。

【図8】上記実験によるロール角、ピッチ角、ヨー角の測定結果を示すグラフ。

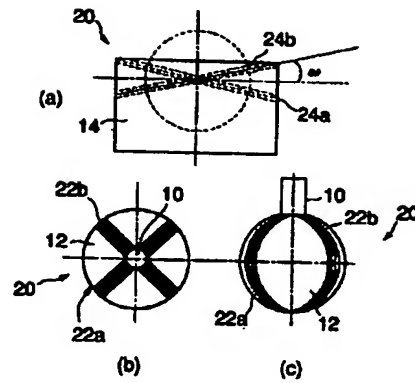
【符号の説明】

- 40 10…ジョイント軸
12…球体部
14…受部材
16…凹所
20…角度検出センサ
22a、22b…第1コイル
24a、24b…第2コイル

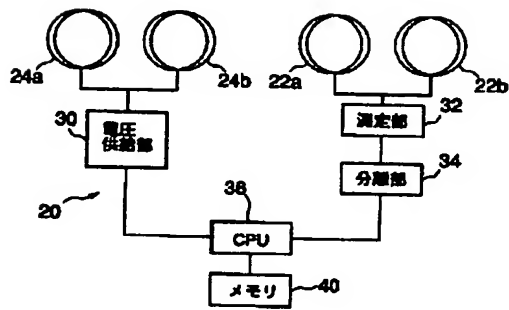
【図1】



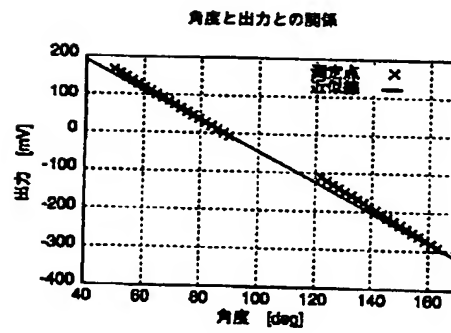
【図2】



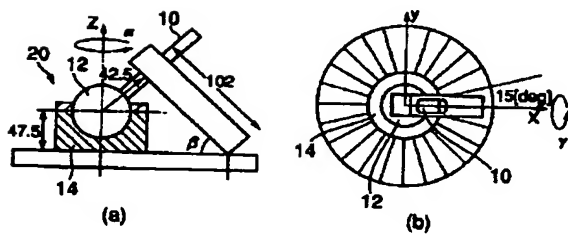
【図3】



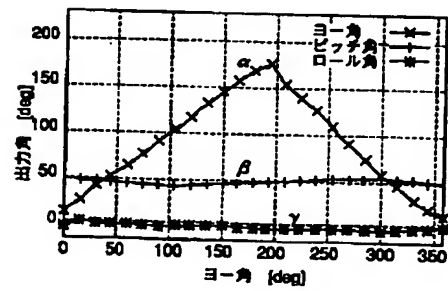
【図4】



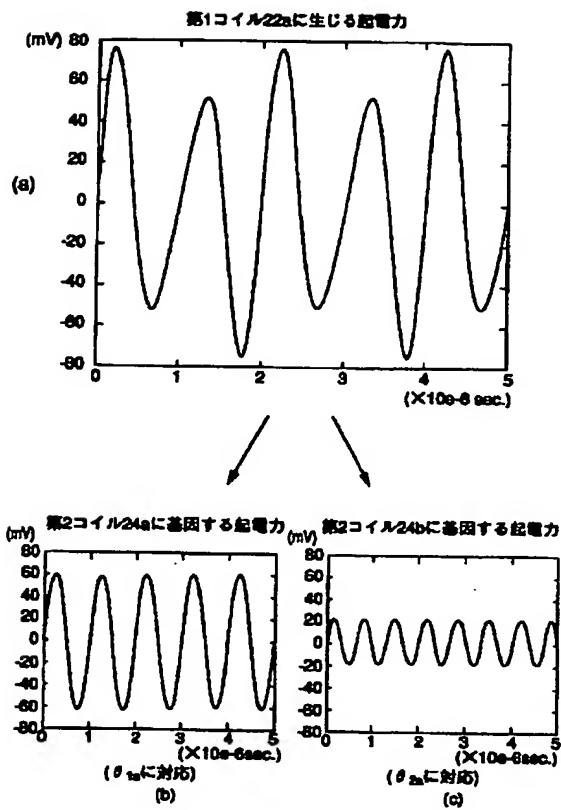
【図7】



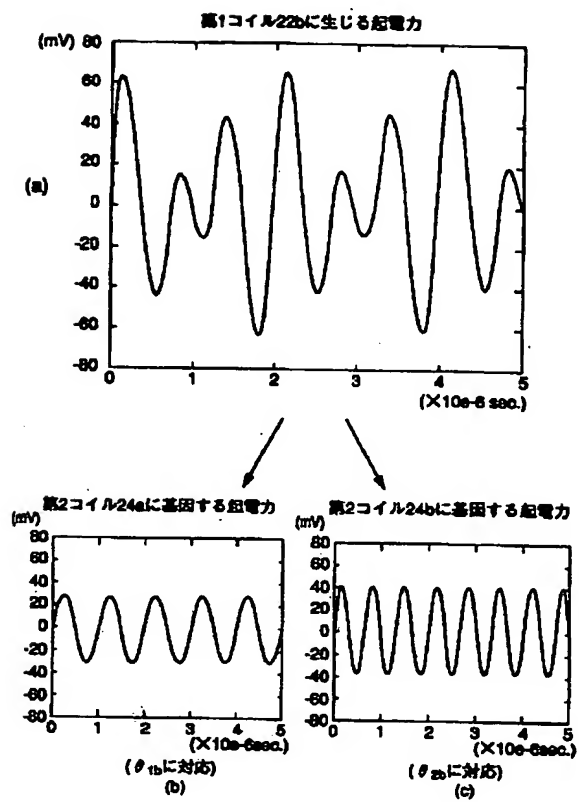
【図8】



【図5】



【図6】



フロントページの続き

Fターム(参考) 2F063 AA35 BA30 CA40 DA01 GA29
 GA33 GA37 KA01 KA06 LA04
 LA07
 2F077 AA49 JJ01 JJ06 PP06 TT06
 TT23